

Cinc en el cultivo de maíz, deficiencia de oportunidad

Silvia E. Ratto¹ y Fernando H. Miguez²

¹Cátedra de Edafología-FAUBA,

²Cátedra de Cereales y Oleaginosas-Fac. Ciencias Agrarias-UCA.

sratto@agro.uba.ar

Introducción

El manejo integral de los nutrientes se ha convertido en una necesidad, considerando la variación introducida en los planteos agrícolas. Las nuevas variedades e híbridos, la deposición de residuos en superficie que modifica la actividad biológica del suelo y el agregado de una cantidad importante de nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P) producen una alteración en el balance de los ciclos biológicos, químicos y geológicos que se manifiesta como nuevos equilibrios edáficos. El cinc (Zn) es afectado por estos nuevos equilibrios y es considerado en muchas áreas agrícolas del mundo como el tercer elemento limitante en orden de importancia luego del N y del P. El Zn, por su abundancia relativa en el ambiente, es considerado un microelemento y por eso cuando se indica cantidad, normalmente se expresa en partes por millón que equivale a las unidades $\mu\text{g g}^{-1}$ o mg kg^{-1} .

La deficiencia de Zn en maíz ha comenzado a observarse desde hace algunos años en el área pampeana y, por sus características se la puede definir como **deficiencia de oportunidad**. Se tratará de explicar el significado adjudicado a esta expresión. En estudios realizados en la Región Pampeana, sobre cultivos de campo, los valores de concentración del elemento en hoja estuvieron cercanos a los críticos o ligeramente por encima de ellos. Asimismo se constató la existencia de una correlación positiva entre el rendimiento de cultivo y la concentración de Zn en hoja (Ratto et al. 1991). La misma tendencia fue medida en ensayos de invernáculo, donde el aumento de Zn en el suelo estuvo acompañado de aumento de absorción y producción de materia seca por plántulas de maíz (Ratto y Mizuno, 1991)

En los últimos años se han aplicado importantes volúmenes de fertilizante nitrogenado para asegurar el rendimiento de los cultivos. Hay evidencias de que la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz aumenta la absorción de Zn (Goldman et al. 2002 y Ratto et al. 1991), aumentando así la cantidad de micronutriente extraída. Es lógico que, al tener mayor cantidad de N disponible, los cultivos necesiten de una mayor provisión de otros nutrientes y aparezcan deficiencias subyacentes.

Sintomatología de deficiencia

Los síntomas visuales de deficiencia de un elemento constituyen una gran ayuda en el diagnóstico, pero es importante recordar que deben ser evaluados dentro de un contexto más amplio que tenga en cuenta la disponibilidad en el suelo, el material genético utilizado y el manejo del cultivo en su conjunto.

En maíz y para el Zn, es frecuente la aparición de deficiencias en las primeras semanas del cultivo (Fig. 1). Se manifiesta en plantas jóvenes, con un color amarillento de la lámina entre nervaduras. Los síntomas de deficiencia generalmente aparecen en la segunda o tercer semana del ciclo, y la característica es su corta duración. Pueden durar desde pocos días a un par de semanas, para luego desaparecer por completo. Sólo en algunas situaciones, en lotes de suelos arenosos, se han detectado sintomatologías que persisten hasta la floración. Situaciones similares ocurren en lotes que están en producción bajo siembra directa, con elevada fertilización fosfatada y en períodos de baja humedad. La aplicación de distintos fertilizantes foliares conteniendo Zn, ha revertido en todas las situaciones las sintomatologías de deficiencias.



Figura 1. Amarillamiento internerval observado en las hojas más desarrolladas de un cultivo de maíz de tres semanas bajo siembra directa.

La sintomatología de deficiencia ha sido observada específicamente en plantas de maíz y se ha generalizado a partir de la introducción de la siembra directa en el paquete tecnológico. Las condiciones predisponentes para la aparición de síntomas de deficiencia parecen ser: siembras tempranas en primavera con suelos fríos, siembra directa con elevada cobertura de rastrojo y elevada fertilización fosfatada en banda cerca de la semilla. La interacción P/Zn generalmente se describe como una deficiencia de Zn inducida por una elevada disponibilidad de P, y la fertilización en bandas eleva su concentración cercana a las raíces del cultivo (Ratto y Giuffré, 1997). Estos síntomas desaparecen al poco tiempo, probablemente debido a una mayor exploración radical del perfil de suelo, asociado a una mayor temperatura lo que también aumentaría la difusión del elemento.

La siembra directa ha provocado cambios en el ambiente suelo que, si bien son altamente provechosos para protegerlo de agentes destructivos como el golpe de la gota de lluvia, modifican algunos parámetros como por ejemplo la temperatura del suelo y especialmente su amplitud térmica. La menor temperatura diurna del suelo limita el crecimiento de las raíces y la difusión del Zn y en siembras tempranas la temperatura nocturna normalmente está por debajo de la temperatura base de crecimiento del maíz. La baja temperatura de suelo, implica también una menor tasa de liberación de Zn desde formas medianamente lábiles hacia formas solubles o intercambiables que son las más rápidamente disponibles por la planta. La existencia de una importante cantidad de residuos vegetales en superficie implica una demanda importante de Zn por parte de los microorganismos del suelo. Se podría decir que existe una inactivación del Zn por un período variable, que depende de la cantidad de restos orgánicos, su relación C/N, la concentración de P en la banda de fertilización, y la temperatura y humedad edáfica. Toda condición que favorezca la mineralización estará contribuyendo a una mayor liberación de Zn aprovechable por las plantas.

La conjunción de restos orgánicos en descomposi-

ción, suelos fríos en relación a la velocidad de crecimiento de las raíces de maíz, una secuencia de cultivos que privilegia al trigo, maíz y/o soja, muy exigentes en la extracción de Zn y que agotan la fracción soluble más intercambiable del elemento, son todos factores que se conjugan para generar baja disponibilidad del Zn y es por ello que se habla de **deficiencia de oportunidad**, ya que no se han medido en suelo o en planta valores que indiquen deficiencias severas.

Funciones del Zn en la planta

- No interviene en sistemas redox. Participa en muchos procesos metabólicos.
- Interviene en la síntesis de auxinas.
- Gran afinidad para formar complejos con N, O y S (funciones catalíticas y estructurales en reacciones enzimáticas).
- Es absorbido como Zn^{2+} y Zn hidratado.
- Se ha encontrado que la aplicación de Zn a semillas de maíz en forma quelatada puede aumentar la velocidad de germinación y el vigor (Miguez, 2006).

¿Cuánto sabemos del tema?

En el área pampeana se han hecho mediciones de Zn total en suelo para evaluar las reservas, se han efectuado medidas sobre la fracción biodisponible y se han conducido ensayos de invernáculo y de campo. Con respecto al contenido total en suelo, en el área pampeana se considera de normal a bueno, de acuerdo al contenido promedio de la corteza terrestre. El contenido oscila entre 60 y 90 $mg\ kg^{-1}$. Es interesante observar la distribución del Zn total en perfiles de suelo. En las Figuras 2 y 3 se presenta la distribución del elemento en un Hapludol (Junín) y en un Argiudol (Chacabuco) medidos por Mizuno *et al.* (1988).

En la Figura 2, correspondiente a un Hapludol, se observa que parte del Zn se ha acumulado en superficie como compuestos orgánicos y que luego, en la zona de mayor exploración radical, hay una importante dis-

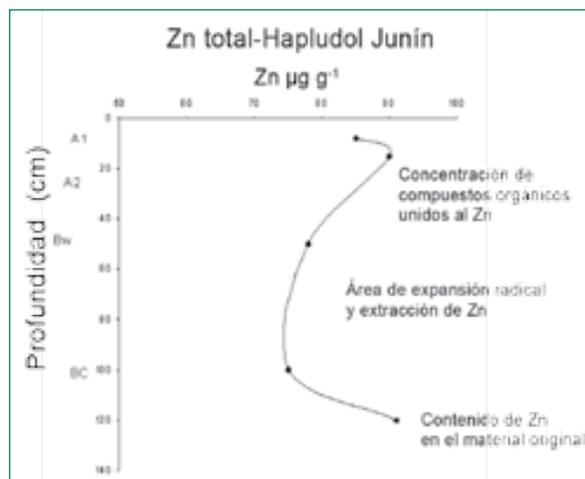


Figura 2. Distribución del Zn total en el perfil de un Hapludol.

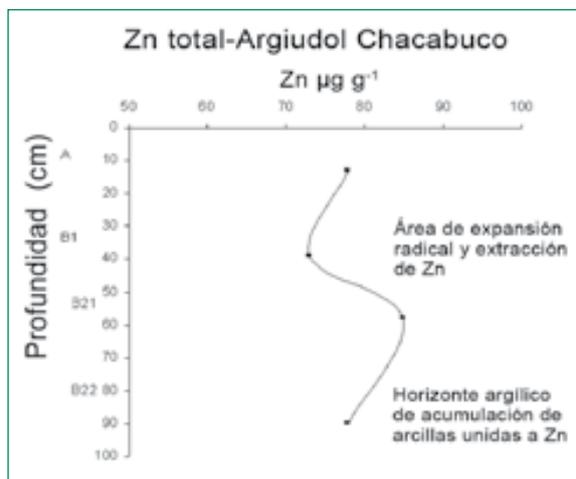


Figura 3. Distribución del Zn total en el perfil de un Argiudol serie Chacabuco

minución de su contenido. Algo parecido se muestra en el Argiudol, con una importante disminución de la cantidad de Zn entre 40 y 50 cm de profundidad, y luego se observa una zona de enriquecimiento que corresponde a la presencia del horizonte argílico, en cuyo caso el aumento es producto de la retención preferencial del Zn por las arcillas. Estas figuras nos permiten visualizar la acción que sobre los nutrientes del suelo provocan, a mediano y largo plazo, las sucesivas cosechas, extrayendo los nutrientes de todo el solum, previniendo sobre la disponibilidad futura.

Otras formas del Zn en suelo

El Zn se presenta unido a óxidos de Fe y Al, a carbonatos y a otros compuestos silíceos. Las fracciones soluble en agua, intercambiable y unida a compuestos orgánicos son las más importantes para caracterizar la **fracción lábil**, considerada como representativa de lo que la planta puede absorber. Internacionalmente se considera que la mejor medida de esta fracción lábil es la que se obtiene con soluciones como el TEA-DTPA (llamada DTPA), EDTA y Melich 3. Las dos primeras, aunque implican un ensayo independiente del resto de las medidas usuales, se consideran como mejores indicadoras de la cantidad disponible para la planta.

Utilizando esas metodologías, se han efectuado estudios en la mayoría de los suelos del área pampeana. Los resultados indican que aunque el contenido total de Zn sea suficiente, muchos suelos presentan valores de Zn biodisponible cercanos a los considerados críticos o limitantes, que son los siguientes:

- 0,5 mg kg⁻¹ para el DTPA
- 1,4 mg kg⁻¹ para el EDTA
- 1 mg kg⁻¹ para Melich-3

También hay que considerar que estos *valores críticos* han sido determinados en ensayos de *invernáculo*, por lo que su extrapolación a cultivos de campo debe ser hecha muy cuidadosamente. De acuerdo a esos relevamientos, un 20% de los suelos estaría con valores cercanos a los considerados muy pobremente provistos de Zn (Ratto *et al.*, 1991). Melgar *et al.* (2001), observaron síntomas de deficiencia de boro (B) y Zn para el cultivo de maíz en el área núcleo.

Composición foliar y rendimiento

Es importante considerar, aparte de la disponibilidad en suelo, la cantidad absorbida por la planta, ya que actúa como una comprobación de la efectividad del ensayo realizado. A partir de este supuesto se evaluó en distintos ensayos el contenido de Zn en planta.

Para el cultivo de maíz, las medidas de laboratorio realizadas permiten concluir que:

- Hay relación positiva entre el rendimiento y la concentración de Zn en la hoja opuesta a la espiga en floración, cuando se explora un amplio rango de valores.

- La fertilización nitrogenada aumenta la cantidad de Zn absorbido por la planta.
- El valor de 20 ug g⁻¹ de Zn en la hoja mencionada se considera como el que separa situaciones de deficiencia de otras de suficiencia, siendo coincidente con la bibliografía internacional (Jones, 2002).
- En los casos en que observó sintomatología de deficiencia de Zn en hojas maduras en floración, se midieron valores de relación P/Zn muy altos, considerados importantes en la inducción de la deficiencia de Zn por exceso de P
- Las deficiencias de Zn están muy difundidas en sistemas productivos a nivel mundial y se considera que el mejor diagnóstico se obtiene a partir de observación de síntomas, de análisis de plantas y su confrontación con el análisis de suelo. También se considera que la relación del contenido de Zn en tejidos debe ser evaluada conjuntamente con el contenido de otros elementos como el P y el Fe.

Rotaciones

El planteo de las rotaciones juega un importante papel sobre la dinámica del Zn en el suelo. Las rotaciones trigo-maíz son consideradas como las más depresoras del contenido de Zn intercambiable, una fracción de gran importancia en la biodisponibilidad, ya que se considera que es la fracción que más rápido repone al Zn en solución (Chandi & Takkar, 1982). Si se agrega a esta rotación el cultivo de soja, cuya tasa de extracción es semejante o mayor a la de maíz de acuerdo a los rendimientos, puede comprenderse con mayor claridad el impacto que el actual sistema de cultivo tiene sobre la dinámica del elemento. No resulta demasiado aventurado suponer que en el corto y mediano plazo se producirá un incremento de manifestaciones de la deficiencia de Zn.

La extracción del suelo luego de cada cosecha, se traduce en valores de Zn soluble e intercambiable muy bajos al finalizar el ciclo, quedando el sistema empobrecido para el cultivo posterior. Se produce así un desplazamiento del equilibrio desde formas menos disponibles a las más disponibles. La velocidad a través de la cual, aumentan las fracciones disponibles para el vegetal, es menor a la de extracción por el cultivo, lo que aumenta la inestabilidad del sistema y se manifiesta la deficiencia.

¿Hay que fertilizar?

Esta pregunta no es sencilla de responder si se pretende generalizar. Cada caso debe ser considerado individualmente, evaluando muy especialmente el uso que ha tenido el suelo y la aplicación que se ha hecho de otros nutrientes. Para obtener evidencias que acercaran a un diagnóstico regional, luego de haber efectuado una caracterización global de los ambientes de la zona maicera con análisis de suelo y de vegetal, se efectuaron durante varios años (1999-2003) ensayos de

campo para evaluar la respuesta del cultivo a la fertilización (datos no publicados). Los resultados no han sido consistentes (Fig. 4). En lotes de elevada fertilidad natural y con aplicación de dosis de N y P elevadas, en varios ensayos hubo respuesta con un aumento muy importante de rendimiento, y estuvo probablemente asociado a la marcha térmica en las primeras etapas del cultivo y a la distribución de las precipitaciones. Bajas temperaturas luego de la emergencia del cultivo y escasez de lluvias, parecen aumentar la probabilidad de respuesta.

Los productos utilizados para los ensayos fueron $ZnSO_4$, preparado a partir de drogas puras en dosis de 5 a 10 kg ha⁻¹ de Zn, y otros fertilizantes foliares de uso comercial donde el elemento estaba en forma de óxido de Zn o quelatado. Se ensayó también la aplicación de Zn junto con la semilla. De todas las formas de Zn aplicadas, el $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ fue el de mayor eficiencia de respuesta; en ningún caso se hizo aplicación de Zn a suelo. Uno de los interrogantes que se planteó al evaluar la información fue el rol del Cu (cobre), ya que presentó valores bajos en los ensayos en que no hubo respuesta al Zn.

Los estudios de Melgar *et al.*, (2001) indican que la fertilización con B y Zn aplicado a suelo en sistemas intensivos de producción de maíz, tuvo respuesta positiva para B en cultivos de Pergamino, Arequito, Santa Teresa, y para el Zn en ensayos de Pergamino, Santa Teresa y Firmat. Sobre 10 ensayos de aplicación de B en tres se verificaron incrementos de rendimiento significativo, y sobre 14 ensayos con Zn en 5 hubo respuesta significativa.

Resumen

Las condiciones predisponentes para la manifestación de la deficiencia de Zn en el cultivo de maíz son:

- Siembra directa, alta cobertura de rastrojo y/o suelos fríos.
- Zn disponible menor a niveles críticos en suelo.
- Siembras con elevada fertilización fosfatada en banda cercana a la semilla.
- Rotaciones: sistema trigo-maíz-soja produce una intensa disminución del Zn intercambiable.

La cantidad total de Zn en suelo no constituye una limitante severa. La fracción llamada “disponible” o “bioasimilable” oscila entre valores cercanos a los limitantes en ensayos de invernáculo y suficientes de acuerdo con estos estándares. Los ensayos de campo no han tenido

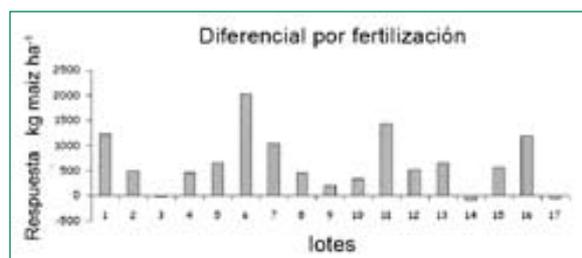


Figura 4. Aumento de rendimiento de maíz sobre el testigo, como respuesta al agregado de Zn en forma foliar, en lotes de producción en la campaña con mayor uniformidad de respuesta, para ensayos realizados en la Región Pampeana.

respuestas consistentes, si bien en algunos casos han sido llamativas por la magnitud. Los valores de Zn en grano, a cosecha, están dentro de los estándares de calidad, aún para elevados rendimientos.

Factores a considerar para evaluar sustentabilidad

Las rotaciones practicadas en el área maicera están produciendo una extracción permanente y de magnitud importante. La disminución del Zn en el sistema puede afectar a una cantidad importante de microorganismos del suelo que cumplen funciones relevantes en el ciclo de los nutrientes. La fertilización nitrogenada actúa como disparadora de una extracción mayor de Zn por parte de los cultivos.

Por ahora, las evidencias indican que es una deficiencia “de oportunidad”, ya que luego de las primeras semanas, cuando el cultivo está implantado y las raíces exploran el suelo, desaparece la sintomatología. Se considera que esto es un llamado de atención acerca de la falta de conocimiento que se tiene del funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, de fundamental importancia para un manejo sustentable de los agrosistemas.

Bibliografía

- Chandi K.S. y P.N. Takkar.** 1982. Effect of agricultural cropping systems on micronutrient transformation. *Plant and Soil* 69:423-436.
- Goldman V; H.E. Echeverría, F. Andrade y S. Uhart.** 2002. Incidencia de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de nutrientes en maíz. *Ciencia del Suelo* 20 (1):27-35.
- Jones J.B.** 2002. *Agronomic Handbook: Management of Crops, Soils, and Their Fertility.* CRC Press.FI. pp: 352
- Melgar R.J, J. Lavandera, M. Torres Duggan y L. Ventimiglia.** 2001. Respuesta de la fertilización con boro y cinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Ciencia del Suelo* 19 (2):109-114.
- Miguez F.** 2006. Efecto de la aplicación de promotores de crecimiento sobre la velocidad de germinación y el vigor en semilla de maíz. Informe presentado a Fertiva Latinoamericana S.A.
- Mizuno I, A.M. Villa, M. Jiménez, M. Moretti, V. Sanguesa, D. Efron y L. Berasategui.** 1988. Elementos mayores y menores en algunos perfiles de suelos de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Facultad de Agronomía.*
- Ratto de Míguez S, N. Fatta y M. Lamas.** 1991. Análisis foliar en maíz de cultivo. II. Microelementos. *Rev. Facultad de Agronomía,* 12(1):31-38.
- Ratto S. y I. Mizuno.** 1991. “Respuesta del maíz al agregado de zinc en ensayo de invernáculo”. XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bariloche.
- Ratto S. y L. Giuffré.** 1997. Relación P/Zn en cultivo de maíz. *Actas de VI Congreso Nacional de Maíz, AIANBA (II)* 190-195.
- Ratto S., M.C. Lamas y E. Chamorro.** 1991. “Análisis foliar en plantas de maíz de cultivo. I. Macroelementos. *Rev. Facultad de Agronomía,* 12(1):23-30.
- Ratto S. y L. Giuffré.** 1997. “Relación P/Zn en cultivo de maíz” VI Congreso Nacional de Maíz. Tomo 2.Pag.190-195.Ed. AIANBA. Pergamino. ■